

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 17 852 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 F 41/04
H 01 F 17/02
H 05 K 1/16

⑦1 Aktenzeichen: 198 17 852.2
⑦2 Anmeldetag: 22. 4. 98
④3 Offenlegungstag: 28. 10. 99

DE 198 17 852 A 1

⑦1 Anmelder:
Doll, Theodor, Dr., 83109 Großkarolinenfeld, DE;
Bartels Mikrotechnik GmbH, 44227 Dortmund, DE

⑦4 Vertreter:
Pätzold, H., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 82166
Gräfelfing

⑦2 Erfinder:
Doll, Theodor, Dr., 83109 Großkarolinenfeld, DE;
Bartels, Frank, Dr., 44227 Dortmund, DE; Kaesen,
Karl Florian, Dr.-Ing., 82008 Unterhaching, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Nutzenfertigung von Induktivitäten mit Mikrotechniken

⑤7 Die Erfindung beschreibt die Herstellung von nicht-planaren, langen Spulen im Nutzen durch Mikrotechniken, wobei die Probleme der Strukturierung auf voluminösen Grundkörpern mit den typischerweise planartauglichen Verfahren gelöst werden durch vorstrukturierte Substrate, in denen entweder Lochverbindungen zwischen beiden Substratseiten in separater Weise hergestellt werden oder mit Planartechniken hergestellte Strukturen auf geneigten Flächen in die Substrattiefe geführt werden. Eine Vielzahl von vorstrukturierten Spulenrohlingen wird im Batch-Prozessing zur fertigen Spule ausgebildet. Die Spulenrohlinge sind auf engstem Raum in einer Ebene nebeneinander angeordnet und werden nach Fertigstellung voneinander getrennt.

DE 198 17 852 A 1

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Induktivitäten aus einem Nutzen unter Verwendung von Mikrotechniken und ein hierfür geeignetes Spulendesign. Bei den Induktivitäten handelt es sich um lange Spulen oder aus solchen hergestellte elektrische Bauelemente.

Herkömmlich werden induktive elektrische Bauelemente in klassischer Drahtwickeltechnik über einem Keramikgrundkern gefertigt, weil sich mit der Bauform einer langen Spule hervorragende elektrische Daten vor allem im Hochfrequenzbereich erreichen lassen. Dabei wird die Spule durch mechanische Wickeltechnik mit Draht realisiert. Spulen sind im Gegensatz zu Widerstands- und Kondensatorelementen volumenabhängige Bauelemente, weshalb die klassische Drahtwickeltechnik eingesetzt wird, um die geeigneten elektrischen Eigenschaften zu erzielen.

Die Herstellung von sogenannten langen Spulen mittels der herkömmlichen Drahtwickeltechnik läßt jedoch keine über die Größenordnung von 1,2 mm × 1,8 mm × 2,4 mm hinausgehende Miniaturisierung zu. Durch die serielle Fertigung der Spulen mittels herkömmlicher Drahtwickeltechnik ist die Herstellung außerdem langwierig und teuer, was zu hohen Produktionskosten führt.

Mit immer kleiner werdenden Abmessungen der Bauelemente, z. B. für Oberflächenmontagetechnik, sind daher die Grenzen einer seriellen Herstellung von Spulen in herkömmlicher Feinwerktechnik erreicht, so daß planare Spulen auf Keramiksubstraten entwickelt wurden, womit über die Nutzenfertigung in Mikrotechniken, wie planarer Dünnschicht- und Dickfilmentechnik auch ein Kostenvorteil erreicht wird. Planare Spulen weisen jedoch im Vergleich zu dreidimensionalen Spulen sehr viel schlechtere Hochfrequenzeigenschaften auf. Die nachteiligen Hochfrequenzeigenschaften planarer Spulen werden durch die vergrößerte Kapazität der planaren Bauform und durch die nachteiligen dielektrischen Eigenschaften des Substrates verursacht. Selbst herkömmliche aus Planarelementen zusammengesetzte Multilayer-Spulen, die mit Via-Elementen verbunden sind, haben nachteilige parasitäre Werte und dementsprechend geringe Güten. Außerdem ist die Herstellung von dreidimensionalen Spulen mittels Multilayertechnik aus planar vorgefertigten Spulenelementen langwierig und teuer, wodurch ebenfalls hohe Produktionskosten verursacht werden.

Aufgabe der vorliegenden Entwicklung ist daher ein einfaches, und kostengünstiges Verfahren von aus einem Nutzen gebildeten induktiven Grundbauelementen bereitzustellen. Dabei soll es sich um dreidimensionale Induktivitäten handeln, die zur industriellen Massenproduktion besonders geeignet sind und den gestellten hohen Qualitätsansprüchen voll gerecht werden.

Die vorstehende Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungen ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche und/oder der nachfolgenden Beschreibung. Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben, die in schematischen Zeichnungen dargestellt sind. Hierzu zeigt:

Fig. 1a und **b** einen Ausschnitt eines ersten erfindungsgemäß vorstrukturierten Substrats in der Draufsicht;

Fig. 1c und **d** eine Anpassung der Induktivitäten;

Fig. 2 einen Ausschnitt eines weiteren erfindungsgemäßen vorstrukturierten Substrats in der Draufsicht;

Fig. 3a ein weiteres erfindungsgemäßes Substrat in der Draufsicht;

Fig. 3b einen Querschnitt durch das Substrat von **Fig. 3a** entlang der Linie A-A;

Fig. 3c eine Ansicht eines Ausschnitts des Substrats von **Fig. 3a** mit einem Spulenrohling der bereits Spulenwindungen aufweist;

Fig. 4 ein Verfahrensschritt zur Herstellung von Spulenwindungen auf einem Substratabschnitt nach **Fig. 3c**;

Fig. 5a einen vergrößerten Querschnitt durch das Substrat von **Fig. 3a**;

Fig. 5b und **c** weitere erfindungsgemäße Ausführungen des Substrats von **Fig. 3a** in Abwandlung von **Fig. 5a**; und

Fig. 6 ein erfindungsgemäßes Trimmen der Induktivität durch Verschieben der Metallisierung der Kontaktenden.

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, zur Nutzenfertigung von "langen Spulen" vorstrukturierte Substrate einzusetzen, wobei z. B. lithographische Techniken angewandt werden können, wie sie z. B. in dem Aufsatz "Conformal Coating by Photoresist of Sharp Corners of Anisotropically Etched Trough-Holes in Silicon" in Transducers 97 Proceedings, 209-212 beschrieben sind.

Unter Zuhilfenahme solcher oder ähnlicher lithographischer Techniken wird ein Substrat erfindungsgemäß derart vorstrukturiert, daß eine Vielzahl von gleichartig ausgebildeten Spulenelementen auf engstem Raum vorteilhaft in Matrixanordnung nebeneinander angeordnet sind.

Nach einem ersten erfindungsgemäßen Verfahren werden gemäß **Fig. 1** und **Fig. 2** in einem ersten Schritt der Vorstrukturierung eines geeigneten Substrats **1** in dem Substrat geeignete Löcher **2, 3** für die vertikalen Leitungsbahnschnitte **21** der Spule und deren beide Kontaktenden **31** ausgebildet.

Erfindungsgemäß können die Löcher **2** senkrecht zum Substrat oder in einem Winkel zum Substrat ausgebildet sein, der dem Gangfortschritt der Windungen der Spule entspricht. Die Löcher **3** für die beiden Kontaktenden **31** an den Stirnflächen der Spule sind erfindungsgemäß derart ausgebildet, daß wenn die beiden Löcher **3** mit leitfähigen Material gefüllt sind, die beiden dadurch gebildeten leitfähigen Kontaktenden **31** im wesentlichen über den ganzen Spulenquerschnitt angeordnet sind.

Die das Substrat **1** durchdringenden Löcher **2, 3** können in diesem erfindungsgemäßen ersten Schritt vorteilhaft durch Bohren, Laserbearbeitung, Ätzverfahren oder einer Abformung des Substratmaterials oder eines Vorläufermaterials wie grüner Keramik oder einem Prepolymer hergestellt werden. Um die vertikalen Spulenabschnitte und ihre Kontaktenden zu erhalten werden anschließend in einem erfindungsgemäßen zweiten Schritt die Löcher **2, 3** durch Galvanik, eine Rakel-Dickschichttechnik oder Ausgießen mit einer geeigneten leitfähigen Substanz gefüllt.

Nachdem die Löcher **2, 3** mit leitfähigem Material angefüllt sind, werden in einem erfindungsgemäßen dritten Schritt die planaren Leiterbahnen **4** und **5**, die die vertikalen Leiterbahnen **21** auf der Oberseite und Unterseite des Substrats **1** verbinden und das planare Metallisierungsende **6** für die Verbindung mit den Kontaktenden **31** der Spulen durch Siebdruck oder gemäß Dünnschichttechniken wie Lithographie hergestellt. Durch geeignete Ausbildung der planaren Metallisierungsenden **6** ist dabei vorteilhaft ein nachträgliches Trimmen der Spule möglich. **Fig. 1c** und **Fig. 1d** zeigen eine vergrößerte Darstellung der planaren Metallisierungsenden **6** für die Kontaktflächen **31** an den Stirnseiten der Spulen. Die miteinander verbundenen vertikalen **21** und planaren **4, 5** Leiterbahnen bilden, zusammen mit einem vorderen und hinteren Metallisierungsende **6** und einer vorderen und hinteren Kontaktfläche **31** ein erfindungsgemäßes Spulenelement **11**. Nach Messung der Induktivität von Testspulen, die einem Batch vorgezogen werden, und die elektrisch oder optisch das eingeschlossene Volumen bestimmt, kann die Induktivität der Spulen durch Vergrößern (**Fig. 1d**) oder Ver-

kleinern (Fig. 1c) der Metallisierungsenden 6 der Spulen angepaßt werden.

In einem erfindungsgemäßen vierten Schritt erfolgt gemäß Fig. 1 und 2 bei geeignet ausgebildeten Löchern 2,3 und Kontakten 31 und geeignet nebeneinander in Matrixanordnung angeordneten Spulenelementen das Nutzen-trennen vorteilhaft quer durch die Löcher 2,3 entlang der Linien g1, g2, v1, v2 derart, daß die vertikalen Leiterbahnen 21 und vertikalen Kontaktenden 31 geteilt werden und die verbleibenden leitfähigen Bahnen 21 und Kontaktenden 31 dann zu verschiedenen Spulenelementen 11 gehören.

Ein hinsichtlich der Nutzensausbeute optimierter Nutzen kann dabei vorteilhaft dadurch erreicht werden, daß die Löcher 21 mit z. B. länglichem, ovalen oder elliptischen Querschnitt ausgebildet werden.

Mit einer spiegelbildlichen Anordnung der Windungsverläufe nebeneinanderliegender Spulen läßt sich dieser Vorteil für die vorstehend beschriebenen Ausführungen gemäß Fig. 1 und 2 erreichen.

Prinzipiell sind Spulen geeigneter Güte dreidimensionale Bauelemente, da die Induktivität einer Spule aus der nachstehenden Gleichung gegeben ist:

$$L = \mu \mu_0 (N/l)^2 \times \Lambda \times l \quad (\text{Gleichung 1})$$

L: Induktivität

N: Windungszahl

l: Länge der Spule

Λ : Querschnitt

l: Länge.

In Gleichung 1) beschreibt $\Lambda \times l$ das Spulenvolumen, und N/l die technisch relevante Größe Windungszahl pro Länge. Aus Gleichung 1) geht hervor, daß die Güte der Induktivität von dem eingeschlossenen Spulenvolumen und der Windungszahl abhängig ist. Daher ist es wünschenswert, daß das eingeschlossene Spulenvolumen einen zu optimierenden Querschnitt aufweist, der vorteilhaft kreisförmig, quadratisch oder rechteckig sein kann, und die Windungen möglichst symmetrisch über das eingeschlossene Spulenvolumen verteilt sind, so daß ein gleichförmiger Gangfortschritt der Windungen über alle Windungen und das eingeschlossene Volumen von dem ersten bis zum zweiten Spulenelement erreicht wird.

Die Verteilung des Gangfortschritts auf mehrere Spulenflächen führt bei festem Windungsabstand zu reduzierten Anstiegswinkeln α der Leiterbahnen 4, 5, 21 pro Spulenseite und vermindert so die winkelbedingte Einengung des effektiven Leistungsbahnabstandes $b' = (a \times \cos \alpha) \rightarrow b$ mit a = Lochabstand und b = Leiterbahnbreite. Mit unterschiedlichen Winkeln α können über diese Beziehung verfahrensbedingt unterschiedliche minimale Strukturgrößen für Löcher und Bahnen zu einer Kombination der Loch- und Bahnerstellung gebracht werden, in der sich optimal enge Winkelabstände und ein optimaler Gangfortschritt realisieren lassen.

Nachfolgend werden vorteilhafte Bauformen für das Spulendesign beschrieben, die für das erfindungsgemäße Verfahren mittels Vorstrukturierung eines Substrats geeignet sind.

Fig. 1a zeigt ein erstes vorteilhaftes Spulendesign 11. Bei dem Spulendesign gemäß Fig. 1a wird der Gangfortschritt der Spulenelemente 11 bei zum Substrat 1 senkrecht angeordneten Leiterbahnen lediglich durch die planaren Leiterbahnen 4 erzielt, während die Leiterbahnabschnitte 21 auf den Geraden g1 und g2 und die planaren Leiterbahnabschnitte 5 auf der einen Oberfläche des Substrats parallel zueinander angeordnet sind und keinen Beitrag zum Gangfortschritt der Spulenwindungen leisten.

Die in der Ausführung gemäß Fig. 1a zum Substrat 1 senkrechten Löcher 2 mit den zugehörigen Leiterbahnen 21 einer Spule sind erfindungsgemäß entlang zwei parallelen Geraden g1 und g2 auf der Oberfläche des Substrats 1 angeordnet. Die Löcher 2 mit den zugehörigen Leiterbahnen 21 liegen dabei in einer ersten vorteilhaften Ausführung gemäß Fig. 1a des Spulendesigns derart einander gegenüber, daß die Verbindungslinie V der Löcher 2 im wesentlichen senkrecht zu den beiden Geraden angeordnet ist.

Bei der Ausführung des Spulendesigns gemäß Fig. 1a verbinden daher die planaren Leiterbahnen 4, 5, auf der einen der Ober- oder Unterseite des Substrats 1 jeweils einander auf den Geraden g1 und g2 gegenüberliegende vertikale Leiterbahnen 21 und die planaren Leiterbahnen 4, 5 auf der anderen der Ober- oder Unterseite des Substrats 1 eine vertikale Leiterbahn 21 auf der einen Seite (Geraden g1, g2) mit einer der gegenüberliegenden vertikalen Leiterbahn benachbarten Leiterbahn 21.

In einer zweiten Ausführung einer vorteilhaft ausgebildeten Spule gemäß Fig. 1b sind die Löcher 2 für die vertikalen Leiterbahnen 21 ebenfalls senkrecht zum Substrat auf zwei parallelen Geraden g1, g2 ausgebildet, wobei die Löcher 2 und somit die vertikalen Leiterbahnen 21 derart auf der einen Seite entlang der Geraden g1 angeordnet sind, daß sie jeweils in der Mitte zwischen zwei gegenüberliegenden Leiterbahnen 21 auf der anderen Seite entlang der Geraden g2 zu liegen kommen.

Bei dieser Ausführung verbinden die planaren Leiterbahnen 4 und 5 auf der Ober- und Unterseite des Substrats 1 jeweils im Gangfortschritt aufeinander folgende gegenüberliegende vertikale Leiterbahnen 21, so daß die Leiterbahnen 4, 5 auf der Ober- und Unterseite des Substrats 1 zueinander in Zick-Zack Konfiguration sind.

Die Ausführungen des Spulendesigns der mit den vorstehenden erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Spulen schließen erfindungsgemäß jeweils ein quadratisches oder rechteckiges Volumen ein, wodurch eine der vorstehenden Gleichung 1) entsprechende vorteilhafte Induktivität erreicht wird. Der Spulenkörper mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt hat vier Seitenflächen und zwei Stirnflächen mit den durch die miteinander verbundenen Leiterbahnabschnitten 4, 5, 21, die die Spulenwindungen auf den vier Seitenoberflächen des Spulenkörpers bilden. Der Gangfortschritt wird bei der ersten Ausführung des Spulendesigns gemäß Fig. 1a lediglich mit den planaren Leiterbahnen 4 auf einer Seitenoberfläche des Spulenkörpers erreicht, wohingegen die gegenüberliegenden Leiterbahnen 5 mit den Leiterbahnen 21 auf den übrigen Seitenoberflächen in einer Ebene angeordnet sind.

Bei der zweiten Ausführung des Spulendesigns gemäß Fig. 1b wird der Gangfortschritt durch die planaren Leiterbahnen 4 und 5 auf der Ober- und Unterseite des Substrats 1 erreicht, die geeigneterweise mit den beiden parallelen Geraden g1 und g2 jeweils den gleichen Winkel mit umgekehrtem Vorzeichen einschließen. Der Gangfortschritt wird hier erfindungsgemäß durch Leiterbahnen auf zwei gegenüberliegenden Seitenoberflächen des Spulenelements erreicht.

Bei einer dritten in den Figuren nicht gezeigten Ausführung eines vorteilhaften Spulendesigns sind die vertikalen Löcher 2 geneigt zur Substratebene angeordnet. Die vertikalen Leiterbahnen 21 auf gegenüberliegenden Seitenoberflächen des Spulenkörpers wie die planaren Leiterbahnen 4, 5 auf der Ober- und Unterseite des Substrats sind vorteilhaft jeweils in demselben Winkel mit umgekehrtem Vorzeichen zum Querschnitt des Spulenelements 11 angeordnet, wobei der Winkel durch den Gangfortschritt gegeben sind.

Erfindungsgemäß können bei den vorstehend beschriebenen Verfahren und Spulenkörpern die vertikalen oder ge-

neigten Leiterbahnen 21 einerseits und die planaren Leiterbahnen 4, 5 und Metallisierungsenden 6 auf der Ober- und Unterseite des vorstrukturierten Substrats 1 andererseits jeweils aus verschiedenen leitfähigen Materialien bestehen.

Wünschenswert ist, dabei daß die verschiedenen Materialien eine annähernd gleiche Leitfähigkeit aufweisen. Durch Querschnittsvariation von vertikalen und planaren Leiterbahnen (z. B. über die planare Leiterbahnhöhe) läßt sich der serielle Gesamtwiderstand beider Bahnarten unter Kosten- und elektrischen Gesichtspunkten optimieren.

Als Material für die Spulenwindungen kommt beispielsweise ein leitfähiges Polymer, höherschmelzende Dickschicht-Leiterpasten oder galvanisch abgeschiedenes Kupfer auf einer ganzflächig abgeschiedenen Startmetallisierung, z. B. Platin, in Betracht.

Als Material für das Substrat 1 ist Polyimid neben Al_2O_3 aufgrund seiner Dielektrizitätskonstante erfindungsgemäß besonders geeignet.

Fig. 3a zeigt ein nach einem weiteren erfindungsgemäßen Verfahren vorstrukturiertes Substrat 1 in der Draufsicht und Fig. 3b zeigt einen Querschnitt durch das Substrat 1 von Fig. 3a entlang der Linie A-A und Fig. 3c zeigt eine vergrößerte Darstellung eines Spulenrohlings 12 von Fig. 3a mit bereits aufgetragenen Spulenwindungen 13 und Metallisierungsenden 14.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß Fig. 3 werden in einem ersten Schritt in einem geeigneten Substrat 1, eine Vielzahl von an ihren Enden längsseitig und/oder querseitig (nicht gezeigt) miteinander verbundenen Spulenrohlungen 12 mit den vorstehend beschriebenen Verfahren vorstrukturiert und dabei eine Vielzahl von Spulenrohlungen 12 in einer Ebene vorteilhaft in Matrixanordnung hergestellt. Die Spulenrohlungen 12 werden dabei vorteilhaft in der sogenannten Hundeknochenform ausgebildet und weisen an ihren Enden einen vergrößerten Querschnitt auf. Die Hundeknochenform wird gewählt, um über die Windungsmetallisierung noch eine Isolationsschicht ziehen zu können und dabei immer noch keine Auflage im Bauchbereich der Spule zu haben. Außerdem wird die Stabilität des Substrats 1 bei Nutzen mit an den Spulenenden seitlich miteinander verbundenen Spulenrohlungen 12 erhöht. Die gegenüberliegenden Enden zweier aufeinanderfolgender miteinander verbundener Spulenrohlungen 12 können wie in Fig. 3 dargestellt schon bei der Vorstrukturierung von den jeweils gegenüberliegenden Enden der seitlich benachbarten Spulenrohlinge getrennt werden, sie können jedoch auch mit diesen verbunden sein und erst bei der Vereinzelung der Spulen aus dem Nutzen voneinander getrennt werden.

Vorteilhaft sind die Spulenrohlungen 12 wie in Fig. 5 dargestellt quadratisch, rautenförmig, kreisförmig oder mit sechseckigem Querschnitt ausgebildet.

In einem zweiten Schritt werden mittels beidseitiger Abscheidung durch eine Schattenmaske 8 gemäß Fig. 4 oder beidseitiger Lithographie die so angeordneten Spulenkörper 12 dann komplett mit geschlossenen Spulenwindungen 13 versehen. Für die Lithographie ist auf 3D Strukturen mit geneigten Flächen gemäß Fig. 4 und Fig. 5a, b und c bei so tief strukturierten oder auch durchbrochenen Substraten die übliche Spin On Technik für die Auftragung eines Photoresists schwierig. Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch Aufsprühen eines Photolacks 15 gelöst. Für die Realisation der leitfähigen Bahnen kann vor der Lithographie eine ganzflächige Metallisierung der Spulen- oder Windungskörper erfolgen. Mit der Lithographie werden die Windungszwischenräume abgedeckt und nachfolgend die Spulenwindungen 13 aufgalvanisiert. Nach einem Strippen des Photoresists wird daran anschließend die Startmetallisierung im Bereich der Windungszwischenräume durch Ätztechniken ent-

fernt.

Fig. 5 zeigt vergrößerte Querschnitte durch Spulenrohlinge nach Fig. 3b. Die für hohe Induktivitätswerte optimale geometrische Ausbildung und Anordnung der Spulenrohlinge 12 im Nutzen 1 hängt davon ab, ob die Tiefenschärfe der Lithographie die begrenzende Größe für die Herstellung möglichst dicht liegender Windungen ist. Ist dies der Fall und beträgt für eine beabsichtigte Windungsdichte die Tiefenschärfe $a/2$, die Substratdicke a und die geforderte Lackdicke L , so würde sich bei einer rautenförmig quadratischen Anordnung gemäß Fig. 5a eine maximale Spulenquerschnittsfläche A von $A = 0,5 \times a^2$ ergeben. Mit derselben Tiefenschärfe ließen sich aber bei ungekippter Lage der Spulenstirnflächen und einem kreisförmigen Wicklungsquerschnitt gemäß Fig. 5b eine Fläche von $A = 0,78 \times a^2$ erreichen. Entlang der steilen Spulenflächen nimmt die effektive Lackdicke, die bei einem lithographischen Verfahren durchzubelichten ist, aber erheblich zu, wie auch die Abbildung einer dicken Spulenwindungsbahn problematisch wird. Ist aber weiterhin die maximale Lackdicke L' bekannt, die zusammen mit der nominalen Lackdicke L ohne Einbußen durchbelichtet werden kann, so läßt sich gemäß Fig. 3c über den Winkel $b = \arccos(L/L')$ diejenige Spulengeometrie errechnen, die bei quadratischem Stirnflächenquerschnitt und gegebener Tiefenschärfe die maximal erreichbare Spulenquerschnittsfläche ergibt. Derselbe Winkel b führt auch für rechteckige Spulenquerschnitte zu einer Optimierung.

Diese Überlegungen führen zu einem vorteilhaften sechseckigen Querschnitt der Spulenrohlinge 12 gemäß Fig. 5c.

Liegen die geforderten Abmessungen der Spulenstirnflächen deutlich unterhalb der erreichbaren Tiefenschärfe der eingesetzten Lithographie, führt die rautenförmige Anordnung gemäß Fig. 5a der Gesamtspulen im Nutzen wieder zu optimalen Querschnittsflächen.

Die Realisation von Spulen mit derartig gekippten Flächen führt schließlich an den Kanten, welche die Trennstellen zwischen Vorder- und Rückseitenlithographie darstellen, üblicherweise zu Belackungsproblemen, die mit einer Kantenverrundung in diesen Bereichen deutlich verringert werden können. Bei gleichmäßiger Belackung muß für eine Kantenverrundung mit dem Radius R dazu die durchbelichtbare effektive Lackdicke $L' = L/\cosh + R((1 - \sinh)/\cosh)$ betragen.

Sind die Spulenwindungen 13 auf den einzelnen Spulenrohlingen 12 im Nutzen 1 strukturiert, werden daran anschließend die Startmetallisierungen der Spulenanschlüsse 14 strukturiert. Wenn die Startmetallisierungen 14 nicht zusammen mit den Spulenwindungen strukturiert werden, besteht die in Fig. 6 gezeigte Abgleichmöglichkeit durch Verschiebung VM der Metallisierung 14 einer oder beider Spulenenden. Dabei wird vorteilhaft eine Justierung der beiden Metallisierungsenden 14 und ein gewisser Abgleich der Induktivität zum gewünschten Wert hin möglich.

Neben der Herstellung diskreter Spulen können mit den vorgestellten Verfahren auch Induktivitäten in Leiterplatten hergestellt werden; und zwar mit gezielt hergestellten Werten oder als Spulenwindung im Vorprodukt, wobei der Induktivitätswert dann mit dem LeiterbahnlAYOUT als Anschlußmetallisierung eingestellt werden kann.

Mit den vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich Spulen im Nutzen im Batch-Prozessing herstellen, wodurch erhebliche Kostenvorteile und Zeitersparnis erreicht werden. Außerdem wird durch die erfindungsgemäßen Verfahren eine deutliche Steigerung der Miniaturisierung erreicht, da es ermöglicht wird HF-Spulen von geeigneter Induktivität und Qualität mit einem Abstand der Größenordnung im Bereich von wenigen 100 μm zwi-

schen gegenüberliegenden Leiterbahnen und Windungsabständen von 10 µm herzustellen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von elektrischen Bauelementen aus Rohlingen (12), die als Induktivität mit einer leitfähigen Schicht (4, 5, 21, 10) ein Volumen einschließen, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fertigung im Nutzen auf räumlich vorstrukturierten Substraten (1) erfolgt wobei in dem Substrat (1) eine Vielzahl von Rohlingen (11) in Matrixanordnung ausgebildet werden. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß zum Erreichen der volumenumschließenden leitfähigen Schicht (10) diese auf in einem Winkel geneigten Flächen in die Substrattiefe geführt wird. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Strukturierung der leitfähigen Schicht (10) eine doppelseitige Lithographie unter Verwendung einer Schattenmaske (8) eingesetzt wird. 20
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die leitfähige Schicht (21) durch vorgefertigte Löcher (2) durch die Substrattiefe geführt wird, und die leitfähige Schicht (21) durch Siebdruck oder Rakeltechnik mit einem leitfähigen Material gefüllt werden. 25
5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß Leiterbahnen (21) durch das Substrat (1) hindurch als zu jeweils zwei Bauelementen zugehörig ausgeführt werden. 30
6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die vorstrukturierten Substrate (1) in Abformtechnik hergestellt werden. 35
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Substrate (1) durch Abformung einer Substratrohmasse hergestellt werden. 40
8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Substrate (1) durch Laserbearbeitung vorstrukturiert werden. 45
9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß während der Herstellung eine Belackung durch Aufsprühen erfolgt. 50
10. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch einen Justierschritt in der Lithographie ein Abgleich der Bauelemente erfolgt. 55
11. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Induktivitäten innerhalb einer Leiterplatte hergestellt werden. 60
12. Spule hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spule einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt aufweist. 65
13. Spule hergestellt nach dem Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Spule einen kreisförmigen oder sechseckigen Querschnitt aufweist. 70
14. Spule nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß an zwei gegenüberliegenden seitlichen Oberflächen der Spule Leiterbahnen (21) in einer Ebene senkrecht zum Spulenquerschnitt ausgebildet sind. 75
15. Spule nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß an drei seitlichen Oberflächen der Spule Leiterbahnen (5, 21) in einer Ebene senkrecht zum Spulenquerschnitt ausgebildet sind. 80

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

65

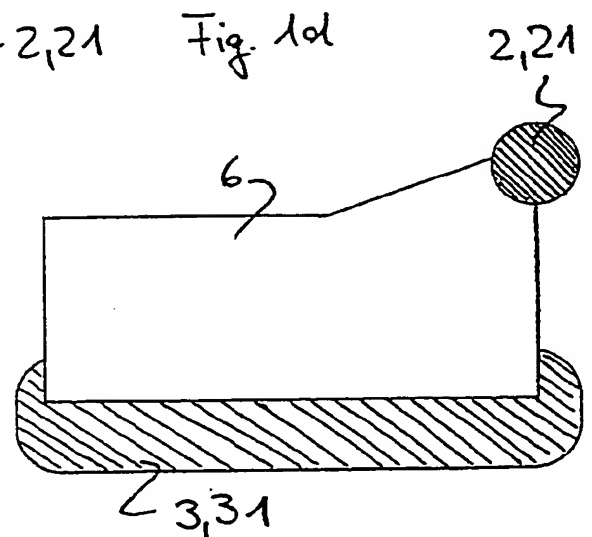
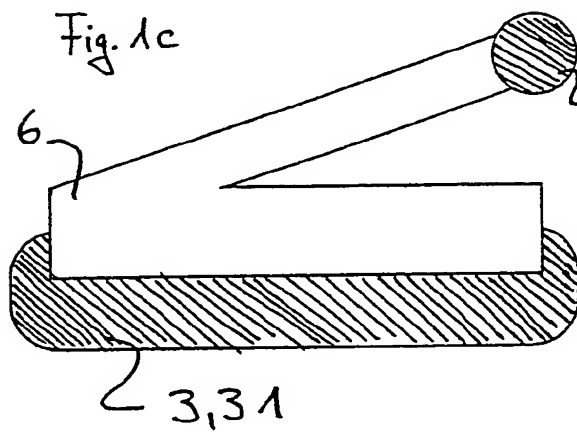
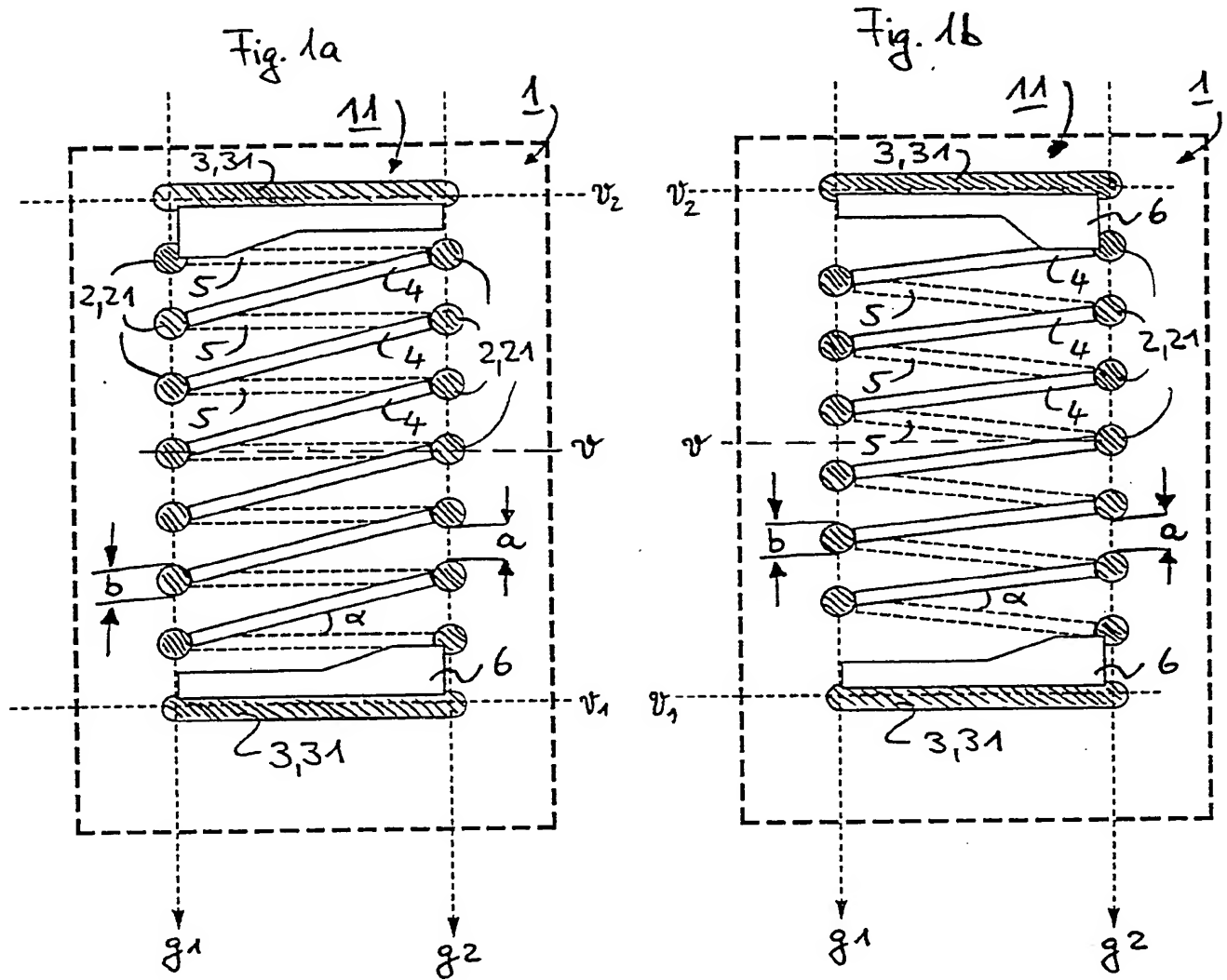


Fig. 2

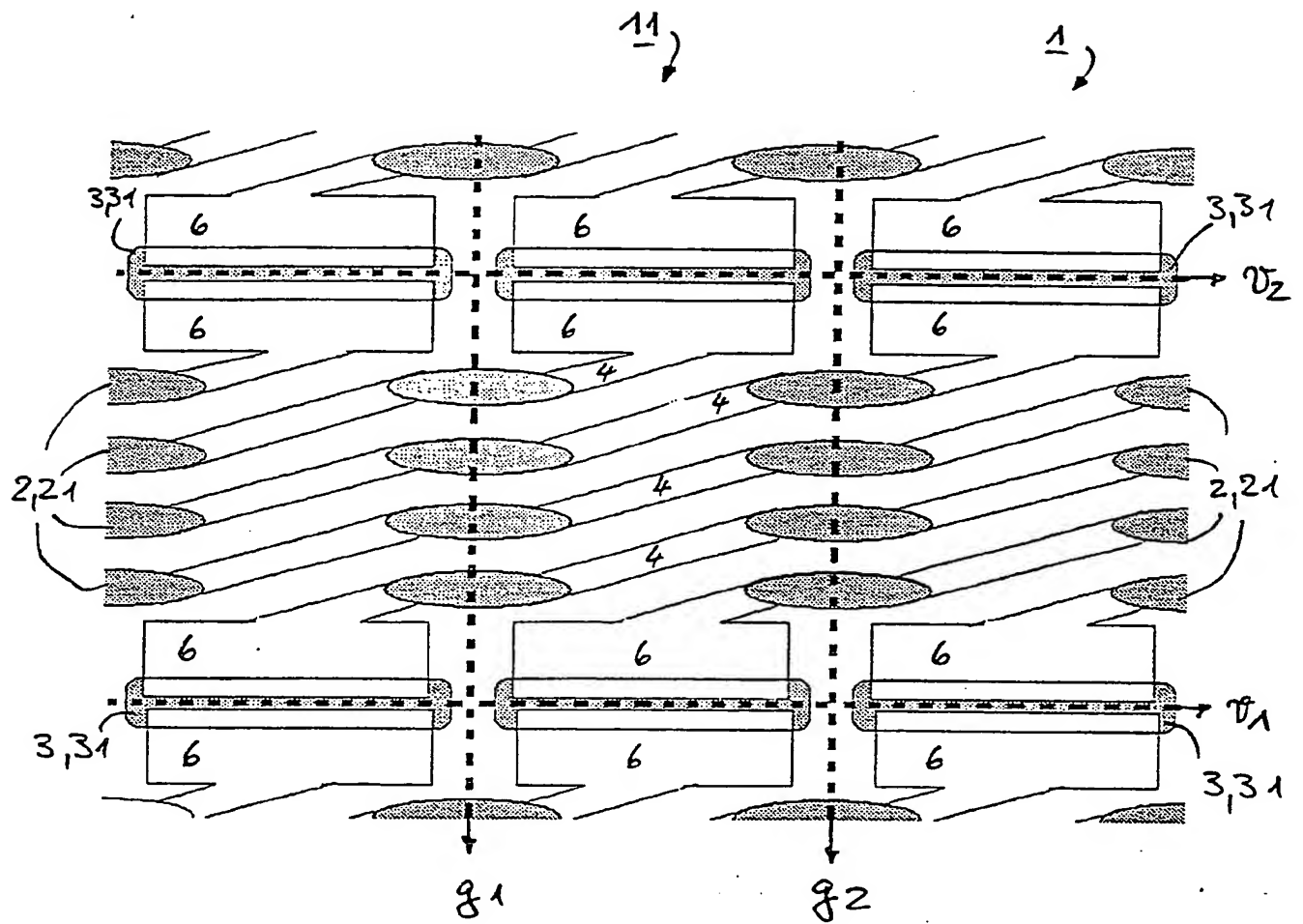


Fig. 3a

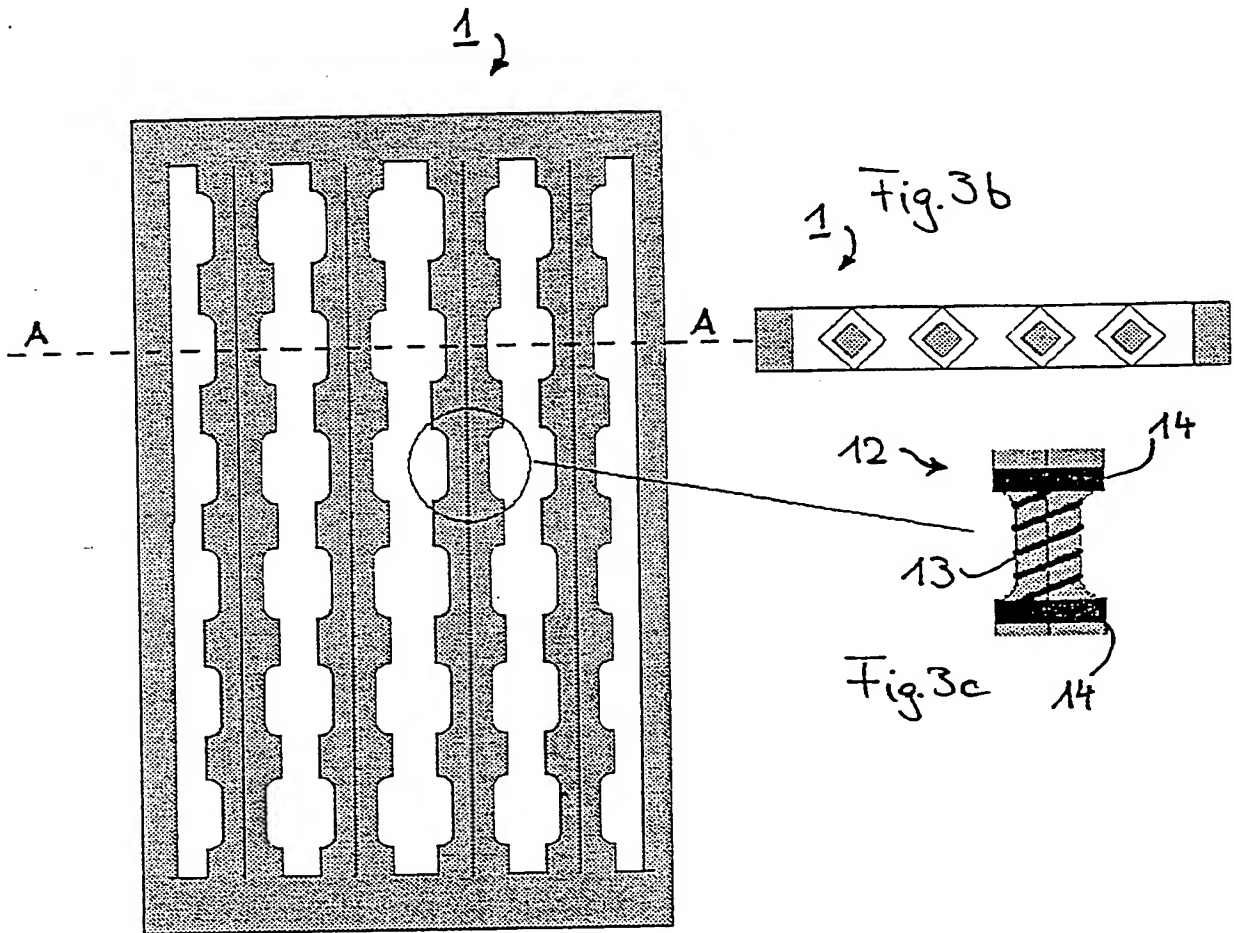
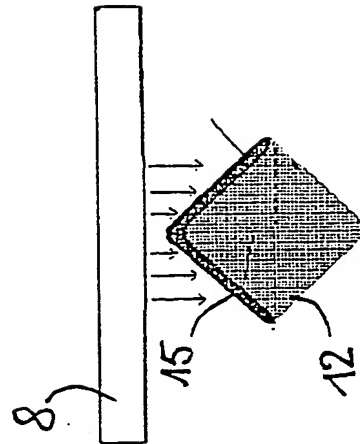
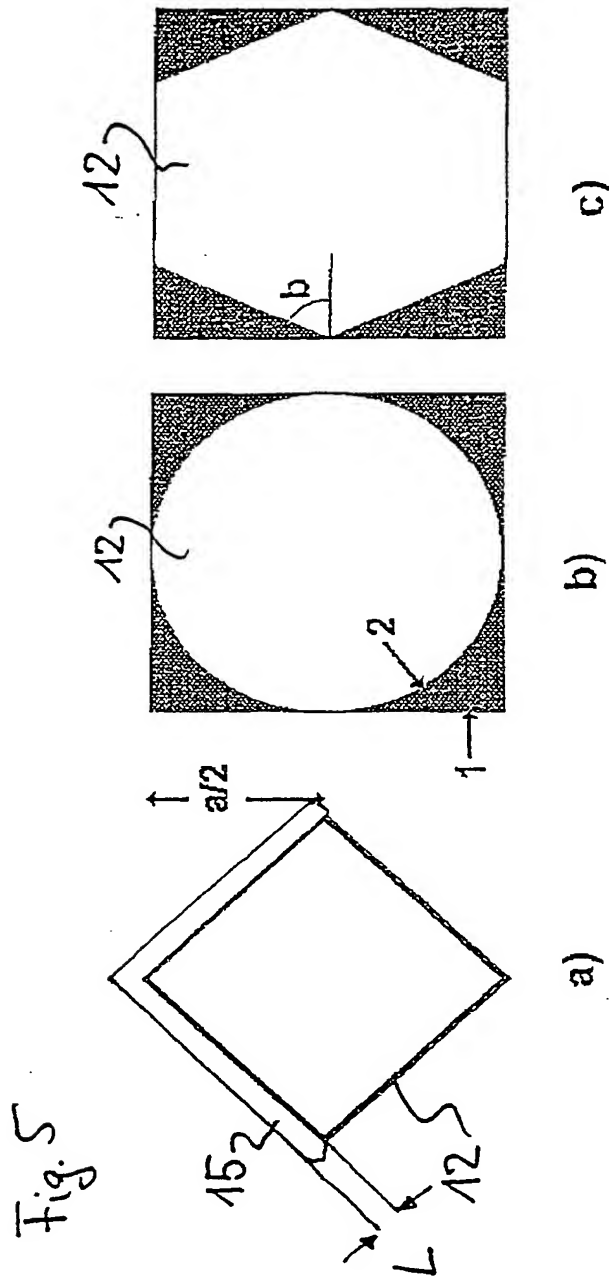


Fig. 4





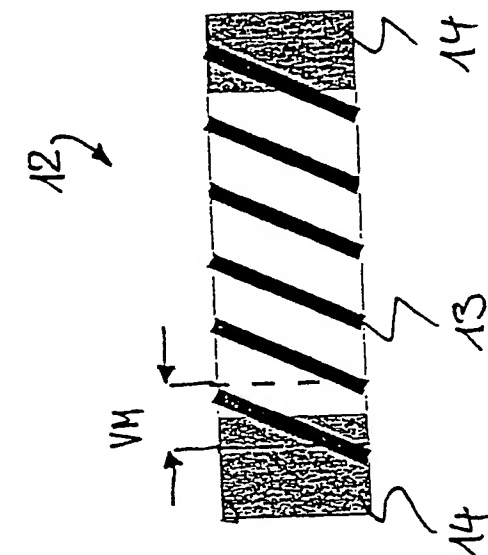


Fig. 6